Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 323- 330

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد- تیر 1399 ص. 330-323

کوتاه پژوهشی

هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر دما و درصد ترکیبات

حیدر ناصری[1]- عیسی حزباوی[2]*- فیض‌اله شهبازی[3]

تاریخ دریافت: 1398/03/28
تاریخ پذیرش: 1398/06/05

چکیده

شیر بازساخته یک محصول جایگزین شیر است. اجزای شیر بازساخته به‌راحتی قابل تنظیم‌تر از شیر است. نسبت اجزای شیر به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول تاثیر می‌گذارد. با استفاده از هدایت الکتریکی می‌توان اطلاعات ارزشمندی در مورد کیفیت مواد مختلف از جمله مواد غذایی به‌دست آورد و به‌وسیله این روش، به‌عنوان یک ابزار ساده و کاربردی، کیفیت بسیاری از مواد غذایی را کنترل نمود. هدف از انجام این تحقیق بررسی هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز است. برای بررسی اثر درصد پروتئین (1، 2 و 3 درصد)، درصد لاکتوز یا قند (4، 6 و 8 درصد) بر هدایت الکتریکی شیر از پودر شیر خشک که خالص و بدون مکمل غذایی می‌باشد، در این تحقیق استفاده شد. برای افزایش درصد لاکتوز پودر شیر خشک از پودر لاکتوز، برای افزایش پروتئین از پودر کازئینات سدیم و برای به حجم رساندن نمونه‌ها از آب مقطر استفاده شد. کل آزمایشات در 3 سطح دمایی (50، 55 و 60 درجه سلسیوس) صورت گرفت. نتایج نشان داد که متغیرهای دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته تاثیر معنی‌داری داشتند. با افزایش درصد پروتئین و دمای شیر بازساخته، هدایت الکتریکی آن به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. با افزایش درصد لاکتوز، هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌ترتیب 5/7 mS/cm در دمای 60 درجه سلسیوس، لاکتوز 4 درصد و پروتئین 3 درصد و 2/31 mS/cm در دمای 50 درجه سلسیوس، لاکتوز 8 درصد و پروتئین 1 درصد حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: درصد پروتئین، درصد لاکتوز، شیر بازساخته، هدایت الکتریکی

مقدمه

شیر یک منبع مهم مواد مغذی مورد نیاز برای رشد در نوزادان و کودکان و همچنین برای حفظ سلامتی و نگهداری بافت در بزرگسالان است. همچنین شیر یک غذای کامل است و به آسانی قابل هضم و جذب می‌باشد (Luck and Screed, 2002). شیر بازساخته یک محصول جایگزین شیر مایع است. اجزای شیر بازساخته به راحتی قابل تنظیم‌تر از شیرهای مایع است. نسبت اجزای شیر به‌طور مستقیم بر کیفیت محصول تاثیر می‌گذارد. بنابراین شیر بازساخته به‌طور گسترده‌ای در تولید برخی از محصولات لبنی مانند پنیر، شیر پاستوریزه، بستنی و غیره استفاده می‌شود (Loveland, 1986; Mabrook and Petty, 2002). به رسانایی یک ماده خالص در برابر جریان الکتریکی، هدایت الکتریکی گفته می‌شود که با واحد میکروزیمنس بر سانتی‌متر (ms/cm) بیان می‌شود. هدایت الکتریکی یک ویژگی است که شامل حرکت آنیون به آند و کاتدی به کاتد و انتقال الکترون برای تکمیل مسیر است.

هدایت الکتریکی شیر عمدتا مربوط به املاح موجود در آن به‌ویژه یون‌های سدیم ،پتاسیم و کلر است (Maatje *et al*., 2002). عوامل موثر بر حرکت یون‌ها عبارتند از: غلظت، ولتاژ، دما و همزدن مکانیکی (Crow, 1994). ساختار شیمیایی یک ماده نیز بر هدایت الکتریکی آن تاثیر می‌گذارد. پروتئین اثر مثبت بر هدایت الکتریکی دارد (Gelais *et al*., 1995). در حالی که چربی و لاکتوز نمی‌توانند جریان را کنترل کنند. هدایت الکتریکی شیر با افزایش لاکتوز و چربی، کاهش می‌یابد (Prentice, 1962). با افزایش میزان آب شیر، هدایت الکتریکی کاهش خطی و با کاهش چربی شیر، هدایت الکتریکی افزایش پیدا می‌کند (Mabrook and Petty, 2003). در مایعاتی مانند شیر، هدایت الکتریکی را بر مبنای جابجایی یون‌ها و حرکت الکترون‌ها در مسیرهای خاص محاسبه می‌کنند، به این ترتیب که با فرو بردن دو الکترود در محلول و اعمال یک ولتاژ خاص، میزان مقاومت محلول اندازه‌گیری می‌گردد. به دلیل آنکه استفاده از جریان مستقیم ممکن است منجر به

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، استادیار و دانشیار، گروه مکانیک بیو سیستم، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران
(*-نویسنده مسئول: Email: hazbavi.i@lu.ac.ir)

DOI: 10.22067/ifstrj.v16i2.81388

پلاریزاسیون الکترودها شود، معمو لا از یک ولتاژ متناوب استفاده می‌شود و در پالسی از زمان جریان عبورکننده به مدار صفر می‌رسد و در محدوده فرکانس اعمال شده میزان مقاومت محاسبه می‌گردد، در اینجا نمک موجود در یک محلول می‌تواند روی پلاریزاسیون الکترودها موثر باشد و بدیهی است به‌کارگیری فرکانسی که در آن پلاریزاسیون الکترودها انجام نشود و حساسیت به حداکثر برسد مدنظر است (Lampert, 1978). به‌طور معمول هدایت الکتریکی شیر در دمای 25 درجه سلسیوس در محدوده 4 تا 5/5 ms/cm است (Nielen *et al*., 1992). هدایت الکتریکی با درجه حرارت افزایش می‌یابد (Loveland, 1986). در شرایط آزمایشگاه ارتباط خطی بین دما و هدایت الکتریکی وجود دارد به‌طوریکه در دمای بین 15 تا 40 درجه سلسیوس به ازاء افزایش هر درجه دما به میزان 0/113 ms/cm افزایش هدایت الکتریکی دیده می‌شود (Mabrook and Petty, 2003). هدایت الکتریکی به‌طور گسترده‌ای در صنایع لبنی مورد استفاده قرار گرفته است. اندازه‌گیری هدایت الکتریکی یکی از روشهای تست برای تعیین مقادیری از جمله نمک‌های محلول (Crow, 1994; Petzer *et al*., 2008)، تعیین میزان یون‌های آزاد در شیر (Mabrook and Petty, 2003)، میزان پروتئین پودر آب پنیر (Zhuang *et al*., 1997; Norberg *et al*., 2004)، تعیین میزان کازئین در فرآیند رسیدن پنیر (Dejmek, 1989; Paqurt, 2000)، برآورد تولید روزانه شیر و میزان چربی آن (Prentice, 1962; Paquet *et al*., 2000) می‌باشد. همچنین از هدایت الکتریکی برای تعیین میزان اسیدی شدن در فرآیندهای تخمیری و عمل آغازگرها (Paqurt, 2000)، تشخیص استرپتوکوکوس ترموفیلوس (Carminati, 1991)، تعیین مراحل رشد لاکتوباسیلوس پاراکازئی در یک نوع پنیر بلغاری (Curda, 1995) و آلودگی آب به *اشریشیاکلی* (Colquhoun and Fricher, 1995) استفاده شده است. با توجه به اینکه در مورد هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر همزمان چند عامل و نیز مدل‌سازی آن تحقیقی صورت نگرفته است، هدف از این پژوهش بررسی همزمان اثر دما، درصد لاکتوز و درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته بومی ایران و همچنین مدل‌سازی آن می‌باشد. نتایج این تحقیق می‌تواند در تشخیص تقلب‌هایی که در صنعت شیر صورت می‌گیرد کاربرد داشته باشد.

مواد و روش‌ها

به دلیل اینکه نژاد گاوهای شیرده و نوع تغذیه این گاوها متفاوت است و همچنین تغییر و کنترل درصد ترکیبات شیر، دقیق و یا راحت نیست (مقدار آب و مواد افزودنی موجود در شیر مشخص نیست)، بنابراین از پودر شیر خشک که خالص و بدون مکمل غذایی می باشد، در این تحقیق استفاده شد (Therdthai and Zhou, 2001). پودر شیر خشک با درصد ترکیبات مشخص (درصد لاکتوز، درصد چربی و درصد پروتئین) از کارخانه شیر پگاه خرم آباد در سال 1396 تهیه شد (جدول 1). تیمارهای مورد استفاده در این تحقیق شامل درصد پروتئین (1، 2 و 3 درصد)، درصد لاکتوز یا قند (4، 6 و 8 درصد) و درصد چربی (3 درصد) می‌باشد. برای افزایش درصد لاکتوز پودر شیر خشک از پودر لاکتوز، برای افزایش پروتئین از پودر کازئینات سدیم، برای افزایش درصد چربی پودر شیر خشک از کره حیوانی (شامل 83/5 درصد چربی و حدود 16 درصد رطوبت) و برای به حجم رساندن نمونه‌ها از آب مقطر استفاده شد (Shin *et al*., 2012). در تمامی آزمایشات، جرم نمونه شیر بازساخته برابر با 100 گرم در نظر گرفته شد. مواد آزمایشگاهی از شرکت مرک آلمان تهیه شده است. برای تاثیر متغیر دما، کل آزمایشات در 3 سطح دمایی (50، 55 و 60 درجه سلسیوس) صورت گرفت.

جدول 1- درصد ترکیبات پودر شیر خشک

ترکیب	درصد
پروتئین	33
چربی	0/1
رطوبت	3/6
لاکتوز	55

به‌منظور اندازه‌گیری میزان مواد آزمایشگاهی مورد نیاز برای تهیه نمونه‌های شیر بازساخته و همچنین جرم نهایی نمونه‌ها، از یک ترازوی دیجیتال (AND GF-6000، ژاپن) با دقت 0/1 گرم استفاده شد. برای رساندن دمای نمونه‌ها به دمای مورد نظر (50، 55 و 60 درجه سلسیوس)، ظرف نمونه‌ها در دستگاه بن‌ماری (Memmert، آلمان) قرار داده شد (Therdthai and Zhou, 2001). این دستگاه برای گرم کردن تدریجی و یکنواخت به محلول‌ها در یک بازه زمانی خاص استفاده می‌شود. محدوده دمایی دستگاه بن‌ماری که به‌طور معمول و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد از دمای اتاق تا 100 درجه سانتی گراد است. همچنین برای مخلوط نمودن ترکیبات مختلف شیر از مخلوط‌کن دور بالا (همگن ساز) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی شیر بازساخته از دستگاه هدایت الکتریکی‌سنج مدل DC14 با الکترودهایی از جنس پلاتین و ساخت شرکت هاریبوی ژاپن (Haribo Company, Japan) استفاده گردید.

در این پژوهش با انجام آزمون پایه در قالب طرح کاملا تصادفی و در سه تکرار اثر ترکیبات شیر بازساخته بر هدایت الکتریکی آن مورد مطالعه قرار گرفت. متغیرهای مستقل شامل درصد پروتئین (1، 2 و 3 درصد)، درصد لاکتوز (4، 6 و 8 درصد) و دمای شیر (50، 55 و60 درجه سلسیوس) و متغیر وابسته نیز هدایت الکتریکی شیر بازساخته بود. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای SPSS 16 و Excel 2007 انجام شد. کلیه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن و در

سطح اطمینان 95 درصد با یکدیگر مقایسه شدند. برای مدل‌سازی شیر بازساخته از روش سطح پاسخ (RSM) و نرم‌افزار Design Expert7 استفاده شد.

نتایج و بحث

اثر متقابل متغیرهای مستقل بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

نتایج تجزیه واریانس هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر متغیرهای مستقل (درصد پروتئین، درصد لاکتوز و دما) در جدول 2 نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود اثرهای اصلی و متقابل متغیرها بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود ($P<0.01$).

تغییرات میانگین هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر متغیرهای مستقل دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز در شکل 1 نشان داده شده است. مطابق این شکل، هدایت الکتریکی شیر بازساخته از 2/31 تا 5/7 mS/cm به‌ترتیب در دمای 50 درجه سلسیوس، لاکتوز 8 درصد و پروتئین 1 درصد و دمای 60 درجه سلسیوس، لاکتوز 4 درصد و پروتئین 3 درصد تغییر یافته است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین تاثیر بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌ترتیب مربوط به اثر درصد پروتئین و درصد لاکتوز است.

جدول 2- تجزیه واریانس هدایت الکتریکی شیر بازساخته

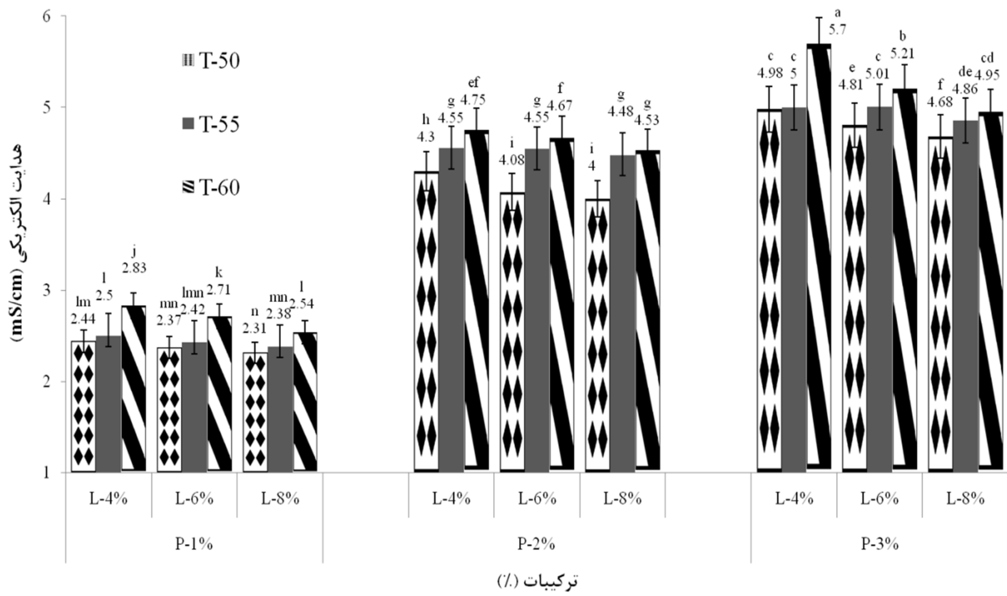
منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
درصدپروتئین (P)	2	94/08	47/02	1099**
درصد لاکتوز (L)	2	0/91	0/45	105/9**
دما (T)	2	2/56	1/28	300/2**
P×L	4	0/13	0/03	7/8**
P×T	4	0/32	0/08	18/9**
L×T	4	0/22	0/06	13/1**
P×L×T	8	0/19	0/02	5/57**
خطا	54	0/23	0/01	

** معنی‌دار در سطوح احتمال 1 درصد

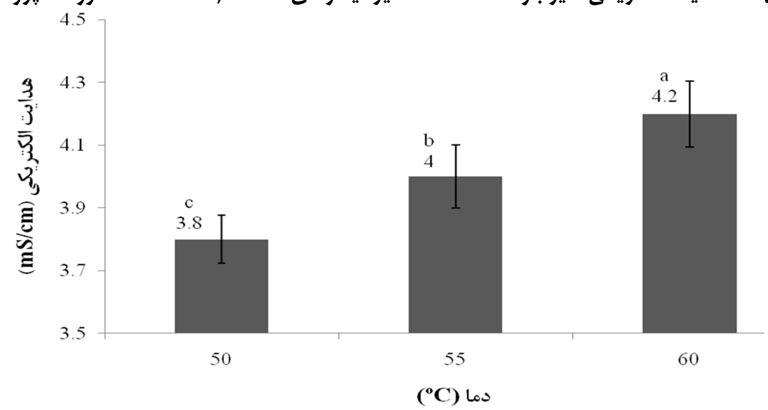
اثر متغیر دما بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

همانطور که در جدول 2 نشان داده شده است اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته معنی‌دار بود ($P<0.01$). در شکل 1 نیز معنی‌دار بودن اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته در تمام سطوح درصد لاکتوز و درصد پروتئین قابل مشاهده است. با افزایش دما، هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی (16%) شیر بازساخته تحت تاثیر متغیر دما در پروتئین 1 درصد و لاکتوز 4 درصد رخ داده و مقدار آن از 2/44 تا 2/83 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. همچنین کمترین تغییرات هدایت الکتریکی (6%) شیر بازساخته تحت تاثیر متغیر دما در پروتئین 3 درصد و لاکتوز 8 درصد حاصل شده و مقدار آن از 4/68 تا 4/95 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است.

در شکل 2 تغییرات میانگین هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر متغیر دما نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی شیر به‌ترتیب در سطوح 60 و 50 درجه سلسیوس بوده است. با افزایش دما از 50 تا 60 درجه سلسیوس، هدایت الکتریکی شیر از 3/8 تا 4/2 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. نتایج مشابهی در مورد اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Sharma & Roy, 1976; Gelais *et al*., 1995). مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته در دمای 55 درجه سلیسوس برابر با 4 mS/cm به‌دست آمد که اختلاف معنی‌داری با مقادیر در دماهای 50 و 60 درجه سلسیوس داشت. با افزایش دما، تحرک مولکول‌های مایع (شیر) افزایش می‌یابد و در نتیجه رسانایی و همچنین هدایت الکتریکی آن افزایش می‌یابد



شکل 1- هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر تیمارهای مختلف (T: دما، L: لاکتوز، P: پروتئین)

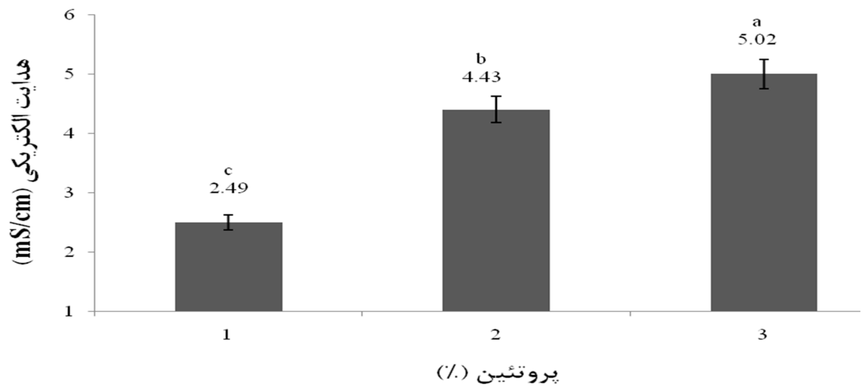


شکل 2- تاثیر دما بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

اثر درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

در جدول 2 نشان داده شد که اثر درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته معنی‌دار بود (P<0.01). در شکل 1 نیز معنی‌دار بودن اثر درصد پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته در تمام سطوح درصد لاکتوز و دما قابل مشاهده است. با افزایش درصد پروتئین، هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی (107%) شیر بازساخته تحت تاثیر درصد پروتئین در دمای 55 درجه سلسیوس و لاکتوز 6 درصد رخ داده و مقدار آن از 2/42 تا 5/01 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. همچنین کمترین تغییرات هدایت الکتریکی (100%) شیر بازساخته تحت تاثیر درصد پروتئین در دمای 55 درجه سلسیوس و لاکتوز 4 درصد رخ داده و مقدار آن از 2/5 تا 5 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است.

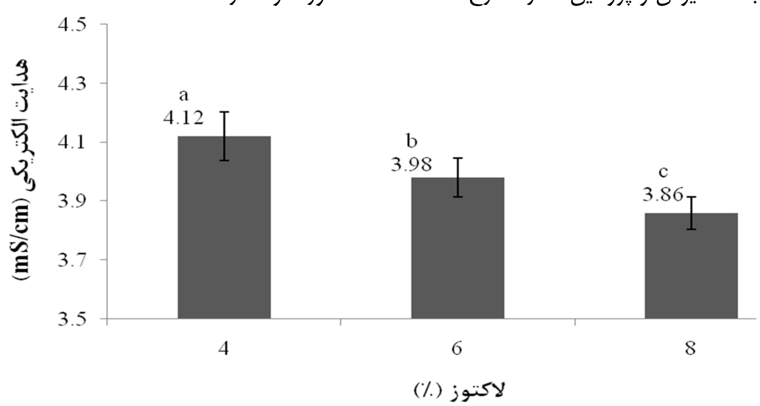
در شکل 3 تغییرات میانگین هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر درصد پروتئین نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته به ترتیب در سطوح 3 و 1 درصد بوده است. با افزایش پروتئین از 1 تا 3 درصد، هدایت الکتریکی شیر بازساخته از 2/49 تا 5/02 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافته است. نتایج مشابهی در مورد اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Gelais *et al*., 1995). هدایت الکتریکی شیر بازساخته در سطح پروتئین 2 درصد برابر با 4/43 mS/cm بوده است که اختلاف معنی‌داری با مقادیر سطوح پروتئین 1 و 3 درصد داشت.



شکل 3- تاثیر پروتئین بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

اثر درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

در جدول 2 نشان داده شد که اثر درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته معنی‌دار بود (P<0.01). در شکل 1 نیز معنی‌دار بودن اثر درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته در تمام سطوح درصد پروتئین و دما قابل مشاهده است. با افزایش درصد لاکتوز، هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است. بیشترین تغییرات هدایت الکتریکی (13%) شیر بازساخته تحت تاثیر درصد لاکتوز در دمای 60 درجه سلسیوس و پروتئین 3 درصد رخ داده و مقدار آن از 5/7 تا mS/cm 4/95 به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است. همچنین کمترین تغییرات هدایت الکتریکی (1/5%) شیر بازساخته تحت تاثیر درصد لاکتوز در دمای 55 درجه سلسیوس و پروتئین 2 درصد رخ داده و مقدار آن از 5/55 تا mS/cm 4/48 به‌طور معنی‌دار کاهش‌یافته است. در شکل 4 تغییرات میانگین هدایت الکتریکی شیر بازساخته تحت تاثیر درصد لاکتوز نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌ترتیب در سطوح 4 و 8 درصد بوده است. با افزایش لاکتوز از 4 تا 8 درصد، هدایت الکتریکی شیر بازساخته از 4/12 تا mS/cm 3/86 به‌طور معنی‌دار کاهش یافته است. نتایج مشابهی در مورد اثر دما بر هدایت الکتریکی شیر توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Mabrook & Petty, 2003). هدایت الکتریکی شیر بازساخته در سطح لاکتوز 6 درصد برابر با mS/cm 3/98 بوده است که اختلاف معنی‌داری با مقادیر سطوح لاکتوز 4 و 8 درصد داشت.



شکل 4- تاثیر لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته

مدل‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ

برای مدل‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به روش سطح پاسخ از نرم‌افزار Design Expert7 استفاده شد. مدل پیشنهادی روش سطح پاسخ برای هدایت الکتریکی شیر بازساخته، مدل درجه دوم با ضریب تبیین 0/93 بود. در رابطه (1) مدل رگرسیونی درجه دوم روش سطح پاسخ برای شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته با توجه به متغیرهای مستقل مورد نظر ارائه شده است. همانطور که در این رابطه مشخص است بیشترین تاثیر در شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر مربوط به عبارات خطی متغیرهای مستقل است. در بین عبارات خطی متغیرهای مستقل، متغیر درصد پروتئین دارای بیشترین تاثیر بر شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته بوده است. بعد از متغیر

درصد پروتئین، بیشترین تاثیر در مدل شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌ترتیب مربوط به درصد لاکتوز و دما بوده است.

$$EC=4.87 + 0.69\ P - 0.21\ L + 0.17\ T - 0.08\ P\times L + 0.03\ P\times T + 0.01\ L\times T - 0.15\ P^2 + 0.04\ L^2 + 0.02\ T^2 \quad (1)$$

که در این رابطه، P درصد پروتئین، L درصد لاکتوز و T دما می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته بررسی شد. تجزیه واریانس نشان داد که متغیرهای دما، درصد پروتئین و درصد لاکتوز بر هدایت الکتریکی شیر بازساخته معنی‌دار بود. با افزایش دما از 50 تا 60 درجه سلسیوس، هدایت الکتریکی شیر بازساخته از 3/8 تا 4/2 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. با افزایش درصد پروتئین از 1 تا 3%، هدایت الکتریکی شیر بازساخته از 2/49 تا 5/02 mS/cm به‌طور معنی‌دار افزایش یافت. با افزایش درصد لاکتوز از 4 تا 8 درصد، الکتریکی شیر بازساخته از 4/12 تا 3/86 mS/cm به‌طور معنی‌دار کاهش یافت. بیشترین و کمترین مقدار هدایت الکتریکی شیر بازساخته به‌ترتیب 5/7 mS/cm در دمای 60 درجه سلسیوس، لاکتوز 4 درصد و پروتئین 3 درصد و 2/31 mS/cm در دمای 50 درجه سلسیوس، لاکتوز 8 درصد و پروتئین 1 درصد حاصل شد. متغیر درصد پروتئین دارای بیشترین تاثیر بر شبیه‌سازی هدایت الکتریکی شیر بازساخته بوده است.

منابع

Carminati, C. & Neviani, E. 1991. Application of the conductance measurement technique for detection of Streptococcus salivarius spp. thermophilus. *J Dairy Sci*, 74: 1472-1476.

Colquhoun, K.O. & Fricher CR. 1995. Detection of Echerichia coli in potable water using direct impedance technology. *J Appl Bacteriol*, 79: 635-639.

Crow, D.R 1994. Principles and application of electro chemistry. 4th ed. Glasgow: Blackie Academic and Professional. Glasgow, UK.

Curda, I. 1995. Plckova M. Impedance measurement of growth of lactic acid bacteria in dairy caltures with Honey Addition. *Int Dairy J*, 5: 727-733.

Dejmek, P. 1989. Precision conductometry in milk renneting. *J Dairy Res*, 56 (1): 69-78.

Gelais, D. 1995. Champagne, CP, Erepmoc F, Audet P. The use of electrical conductivity to follow acidifcation of dairy blends. *Int Dairy J*, 5: 427 438.

Lampert, I.M. 1978. Modern Dairy Products. 3th ed. CRC.USA, p. 92- 132.

Loveland, J.W. 1986. Conductance and oscillometry. 2nd ed., USA: Allyn and Bacon, p. 122-43.

Luck, H & Screed, D. (2002) The use of hydrojenpeoxide in milk and Dairy products. *Ger Res Inst Food Chem*, 3: 423-452 .

Maatje, K., Huijsmans, P.J.M., Rossing, W. & Hogewerf, P.H. 2002. The efficacy of in-line measurement of quarter milk electrical conductivity, milk yield and milk temperature for the detection of clinical and subclinical mastitis. *Livest Prod Sci*, 30: 239-249.

Mabrook, M. & Petty, M. 2003. Effect of composition on the electrical conductivity of milk. *Journal of Food Engineering*, 69 (3): 321-325.

Mabrook, M. F., & Petty, M. C. 2002. Application of electrical admittance measurements to the quality control of milk. Sensors and Actuators B, 84, 136–141.

Nielen, M., Deluyker, H., Schukken, Y.H. & Brand, A. 1992. Electrical conductivity of milk: measurement, modifers, and meta analysis of mastitis detection performance. *J Dairy Sci*, 75 (2): 606 614.

Norberg, E., Hogeveen, H., Korsgaard, I.R., Friggens, N.C. & Lbvendahl, P. 2004. Electrical conductivity of milk: ability to predict mastitis status. *J. Dairy Sci*, 87, 1099–1107.

Paquet, J., Lacroix, C., Audet, P. & Thibault, J. 2000: Electrical conductivity as a tool for analysing fermentation processes for production of cheese starters. *International Dairy Journal* 10, 391-399.

Paqurt, Y. 2000. Electrical conductivity as a tool for analyzing fermentation processes for production of cheese starters. *Int Dairy J*, 10: 391-399.

Petzer, I.M., Donkin, E.F., Du Preez, E., Karzis, J., Van der Schans, T.J., Watermeyer, J.C. & Reenen, R., 2008. Value of tests for evaluating udder health in dairy goats: somatic cell counts, California Milk Cell Test and electrical conductivity. Onderstepoort. *J Vet Res*, 75, 279– 287.

Prentice, J.H. 1962. The conductivity of milk the efect of the volume and degree of dispersion of the fat. *J Dairy Res*, 2: 131 139.

Sharma, G.S. & Roy, D.N.K. 1976. Influence of temperature on the electrical conductivity of buffalo milk. *J Dairy Res*, 43: 321-323.

Shin, J.,Yang, D., Gan, L., Hong, S., Lee, E., Park, S. & Lee, K. 2012. Preparation of recombined milk using modified butterfats containing α-linolenic acid. *Journal of Food Science*, 78(1). 17-24.

Therdthai, N. & Zhou, W. 2001. Artificial neural network modelling of the electrical conductivity property of recombined milk. *Journal of Food Engineering*, 50 (2), 107–111.

Zhuang, W., Zhou, W., Nguyen, M.H. & Hourigan, J.A. 1997. Determination of protein content of whey powder using electrical conductivity measurement. *Int Dairy J*, 7(10): 647 653.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 2, June. July. 2020, p. 323- 330

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 2، خرداد- تیر 1399 ص. 330-323

Electrical conductivity of reconstituted milk affected by temperature and composition

H. Naseri[1], I. Hazbavi[2*], F. Shahbazi[3]

Received: 2019.06.18
Accepted: 2019.08.27

Introduction: Among the foods consumed on a daily basis, milk has the most appropriate and balanced ingredients, that is the reason milk called whole food. Milk is the only known substance in nature that can provide human body with complete and balanced nutrition. Recombined milk is a milk replacement product. Recombined milk components are more easily adjustable than milk components. The electrical conductivity is referred to as conductivity of a specific material against electric current, which is expressed in micro Siemens units per cm (mS/cm). Using electrical conductivity, valuable information is available about the quality of different materials, including food. In addition, by this method, as a simple and practical tool, the quality of many foods can be controlled. The aim of this study was to investigate the electrical conductivity of recombined milk affected by temperature, protein percentage and lactose content.

Materials and methods: In order to investigate the effect of protein percentage (1, 2 and 3%) and percentage of lactose or sugar content (4, 6 and 8%) on the electrical conductivity of milk, pure dry milk powder without dietary supplementation was used. Lactose powder was used to increase the lactose content of dry milk powder. Sodium caseinate was used to increase the protein content of dry milk powder. Distilled water was used to increase the volume of samples. Total experiments were carried out at three temperature levels (50, 55 and 60 ºC). Data analysis was also done using SPSS 16 software.

Results and discussion: The results showed that temperature, protein percentage and lactose percentage had a significant effect on the electrical conductivity of recombined milk. The electrical conductivity of the recombined milk ranged from 2.31 to 5.7 mS/cm at 50°C, 8% lactose, 1% protein and 60°C, 4% lactose, 3% protein, respectively. The greatest and least effect on the electrical conductivity of recombined milk was related to the effect of protein percentage and lactose percentage, respectively. By increasing the temperature, the electrical conductivity of the reconstituted milk has increased significantly. The greatest changes in electrical conductivity (16%) of recombined milk occurred by the influence of temperature factor in protein 1% and lactose 4% and its value ranged from 2.44 to 2.83 mS/cm. In addition, the lowest changes in electrical conductivity (6%) of recombined milk were obtained by the temperature factor of 3% protein and 8% lactose, and it was increased from 4.68 to 4.95 mS/cm. By increasing protein content, the electrical conductivity of recombined milk has increased significantly. The most changes in electrical conductivity (107%) of recombined milk occurred by the influence of protein percentage at 55 °C and 6% lactose, and its value ranged from 2.42 to 5.6 mS/cm. In addition, the lowest changes in the electrical conductivity (100%) of reconstituted milk occurred by the influence of protein percentage at 55 °C and 4% lactose, and its content increased from 2.5 to 5 mS/cm 5. These results indicate that protein percentage factor has the most effect on the electrical conductivity of recombined milk (compared to two temperature factors and lactose percentage). By increasing lactose content, the electrical conductivity of recombined milk has decreased significantly. The greatest changes in electrical conductivity (13%) of recombined milk occurred by the influence of lactose percentage at 60 °C and protein 3%, and its content decreased from 5.7 to 4.95 mS/cm. Also, the smallest changes in electrical conductivity (1.5%) of reconstituted milk occurred by the influence of lactose percentage at 55 °C and 2% protein, and its content decreased from 5.55 to 4.48 mS/cm . The maximum and minimum amount of electrical conductivity of reconstituted milk was 5.7 mS/cm at 60°C, 4% lactose and 3% protein, and 2.31 mS/cm at 50°C, 8% lactose and 1% protein, respectively.

Keywords: Electrical conductivity, Lactose, Protein, Reconstituted milk

1, 2 and 3. Graduate Master, Assistant Professor and Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Khoramabad, Iran.
(*- Corresponding Author Email: hazbavi.i@lu.ac.ir)